

DIALOG(R)File 351:Derwent WPI  
(c) 2003 Thomson Derwent. All rts. reserv.

015043658

WPI Acc No: 2003-104174/200310

XRAM Acc No: C03-026533

XRPX Acc No: N03-083041

Process for locally changing a resulting magnetization direction in a layer arrangement comprises heating the anti-ferromagnetic layer above a threshold temperature, further treating and cooling to below the threshold temperature

Patent Assignee: BOSCH GMBH ROBERT (BOSC )

Inventor: HAAS G; JOHNSON A; MOERSCH G

Number of Countries: 021 Number of Patents: 002

Patent Family:

Patent No	Kind	Date	Applicat No	Kind	Date	Week
DE 10117355	A1	20021017	DE 1017355	A	20010407	200310 B
WO 200282111	A1	20021017	WO 2002DE900	A	20020314	200310

Priority Applications (No Type Date): DE 1017355 A 20010407

Patent Details:

Patent No Kind Lan Pg Main IPC Filing Notes

DE 10117355 A1 9 H01L-043/08

WO 200282111 A1 G G01R-033/09

Designated States (National): JP US

Designated States (Regional): AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LU MC NL PT SE TR

Abstract (Basic): DE 10117355 A1

NOVELTY - Process comprises heating the anti-ferromagnetic layer above a threshold temperature; subjecting the region of the ferromagnetic layer next to the heated region of the anti-ferromagnetic layer to an external magnetic field in a prescribed direction; and cooling the anti-ferromagnetic layer to below the threshold temperature.

DETAILED DESCRIPTION - Preferred Features: The external magnetic field is applied during heating and/or after reaching the threshold temperature. The external magnetic field is maintained after applying and/or after reaching the threshold temperature. The ferroelectric layer is a NiFe soft magnetic layer. The anti-ferromagnetic layer is a NiO or IrMn layer.

USE - Used in magneto-resistive layer systems for locally changing a resulting magnetization direction in a layer arrangement having a ferromagnetic layer and a neighboring anti-ferromagnetic layer.

ADVANTAGE - The process is simple.

pp; 9 DwgNo 0/4

Title Terms: PROCESS; LOCAL; CHANGE; RESULT; MAGNETISE; DIRECTION; LAYER; ARRANGE; COMPRISE; HEAT; ANTI; FERROMAGNETIC; LAYER; ABOVE; THRESHOLD; TEMPERATURE; TREAT; COOLING; BELOW; THRESHOLD; TEMPERATURE

Derwent Class: L03; S01; T03; U12; V02

International Patent Class (Main): G01R-033/09; H01L-043/08

International Patent Class (Additional): G11B-005/716; H01F-013/00

File Segment: CPI; EPI

Manual Codes (CPI/A-N): L03-B05M; L04-E

Manual Codes (EPI/S-X): S01-E01B1; T03-A04A; U12-B01B; V02-B03; V02-H02

?



(10) BUNDESREPUBLIK

DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

# Offenlegungsschrift

## DE 101 17 355 A 1

(51) Int. Cl. 7:

H 01 L 43/08

H 01 F 13/00

G 01 R 33/09

G 11 B 5/716

- (21) Aktenzeichen: 101 17 355.5
- (22) Anmeldetag: 7. 4. 2001
- (43) Offenlegungstag: 17. 10. 2002

DE 101 17 355 A 1

(71) Anmelder:

Robert Bosch GmbH, 70469 Stuttgart, DE

(72) Erfinder:

Haas, Gunther, Dr., St. Grégoire, FR; Moersch,  
Gilbert, Dr., 70563 Stuttgart, DE; Johnson, Andrew,  
81245 München, DE

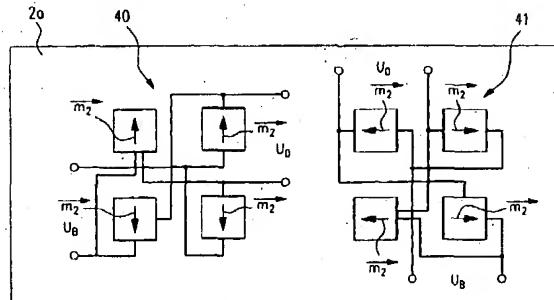
DE 101 17 355 A 1

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

(54) Verfahren zur Einstellung einer Magnetisierung in einer Schichtanordnung und dessen Verwendung

(57) Es wird ein Verfahren zur Einstellung, insbesondere lokalen Veränderung, der resultierenden Magnetisierungsrichtung ( $m_2$ ) in einer Schichtanordnung (2) mit einer ferromagnetischen Schicht (2a) und einer benachbarten antiferromagnetischen Schicht (2b) vorgeschlagen. Dazu wird die antiferromagnetische Schicht (2b) zunächst zumindest bereichsweise, insbesondere mit einem Laser, über eine Schwellentemperatur ( $T_b$ ) aufgeheizt, oberhalb derer der Einfluss dieses Bereiches auf die resultierende Magnetisierungsrichtung ( $m_2$ ) des benachbarten Bereiches (5, 6, 8, 9) der ferromagnetischen Schicht (2a) zumindest weitgehend verschwindet. Weiter wird dann zumindest der dem aufgeheizten Bereich der antiferromagnetischen Schicht (2b) benachbarte Bereich (5, 6, 8, 9) der ferromagnetischen Schicht (2a) einem externen Magnetfeld (H) vorgegebener Richtung ausgesetzt und schließlich die antiferromagnetische Schicht (2b) unter die Schwellentemperatur ( $T_b$ ) abgekühlt. Das vorgeschlagene Verfahren eignet sich besonders zur Herstellung eines magnetoresistiven, nach dem Spin-Valve-Prinzip arbeitenden Schichtsystems mit bereichsweise unterschiedlichen Magnetisierungsrichtungen ( $m_2$ ), die in Form von Wheatstonebrücken zusammengeschaltet sind.



## Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Einstellung, insbesondere zur lokalen Veränderung, einer resultierenden Magnetisierungsrichtung in einer Schichtanordnung nach der Gattung des Hauptanspruchs, sowie die Verwendung dieses Verfahrens zur Herstellung eines magnetoresistiven, nach dem Spin-Valve-Prinzip arbeitenden Schichtsystems.

## Stand der Technik

[0002] Ein nach dem Spin-Valve-Prinzip arbeitendes magnetoresistives Schichtsystem, weist eine weichmagnetische bzw. ferromagnetische Detektionsschicht, eine benachbarte, unmagnetische, elektrisch leitfähige Zwischenschicht und eine der Zwischenschicht benachbarte, möglichst hartmagnetische Referenzschicht mit vorgegebener räumlicher Orientierung der Richtung der resultierenden Magnetisierung auf. Bei geeigneter Auslegung der Dicken der einzelnen Schichten zeigt ein derartiges Schichtsystem dann eine Änderung des elektrischen Widerstands der Zwischenschicht gemäß:

$$R = R_0 + C \cos \theta$$

[0003] Dabei bezeichnet  $\theta$  den Winkel zwischen den zu der Detektionsschicht gehörenden Magnetisierung  $m_1$  bzw. deren Richtung und der zu der Referenzschicht gehörigen Magnetisierung  $m_2$  bzw. deren Richtung. Da die Magnetisierung  $m_1$  in der weichmagnetischen Detektionsschicht hinsichtlich der Richtung durch ein extern anliegendes Magnetfeld veränderbar ist, wobei sie sich möglichst weitgehend parallel zu diesem ausrichtet ausrichtet, tritt somit eine entsprechende Widerstandsänderung in der Zwischenschicht auf, die typischerweise im Bereich von 5% und 15% liegt ("Giant Magneto Resistance" (GMR)).

[0004] Magnetoresistive Schichtsysteme werden vielfach in Magnetplatten und Leseköpfen eingesetzt, sie eignen sich jedoch auch zur Messung von Magnetfeldstärken und Richtungen von Magnetfeldern und insbesondere zur berührungslosen Erfassung von Drehzahlen und Winkeln sowie daraus abgeleiterter Größen, beispielsweise in Kraftfahrzeugen.

[0005] Bei magnetoresistiven Schichtsystemen nach dem Spin-Valve-Prinzip ist weiter bekannt, die hartmagnetische Referenzschicht aus zwei benachbarten, übereinander angeordneten Teilschichten auszuführen, einer unmittelbar an die Zwischenschicht angrenzenden, relativ weichmagnetischen, ferromagnetischen Schicht mit der Magnetisierung  $m_2$ , und einer darunter liegenden, antiferromagnetischen Schicht, welche die räumliche Orientierung der Magnetisierung  $m_2$  in der weichmagnetischen, ferromagnetischen Schicht über den sogenannten "Exchange Bias Effekt" festlegt. Da die antiferromagnetische Schicht nach ihrer Erzeugung durch ein externes Magnetfeld in ihren magnetischen Eigenschaften nicht oder kaum mehr verändert werden kann, muss eine Ausrichtung bzw. unidirektionale Anisotropie in der Referenzschicht bereits während Deposition der antiferromagnetischen Schicht durch Anlegen eines externen Magnetfeldes induziert werden.

[0006] Ein derartiger Aufbau der Referenzschicht aus ferromagnetischer und antiferromagnetischer Schicht hat den Vorteil, dass auch relativ starke externe Magnetfelder nicht zu einer Änderung der Richtung der Magnetisierung  $m_2$  in der Referenzschicht führen.

[0007] Für praktische Anwendungen von magnetoresistiven Schichtsystemen ist es vielfach unerlässlich, diese in ei-

ner Wheatstone'schen Brückenschaltung zu betreiben, um die relativ große Temperaturabhängigkeit des GMR-Effektes zu eliminieren. Dazu ist bekannt, ein solches Schichtsystem auf einem Substrat abzuscheiden, in vier Einzelwider-

- 5 stände, die beispielsweise als mäanderförmige Leiterbahnen, Rechtecke oder Kreise ausgebildet sind, zu strukturieren, und dann mittels Leiterbahnen zu einer Wheatstone'schen Brücke zu verschalten. Um dabei beispielsweise für eine Winkelmessung ein von einem extern anliegenden
- 10 Magnetfeld richtungsabhängiges Brückenausgangssignal zu erhalten, ist weiter bekannt, die Magnetisierungsrichtungen der Bereiche der Referenzschicht, die die vier Einzelwiderstände  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  und  $R_4$  bilden, unterscheiden. Üblicherweise sind die Magnetisierungsrichtungen der Bereiche der
- 15 Referenzschicht, die von den Widerständen  $R_1$  und  $R_3$  eingenommen werden, gegenüber den Bereichen, die von den Widerständen  $R_2$  und  $R_4$  eingenommen werden, um 180° gedreht. Damit ergibt sich als Brückenausgangsspannung eine Spannung  $U_B$  gemäß:

$$20 U_B = 2U_0 C \cos \theta$$

[0008] Eine Winkelmessung über einen Winkelbereich von 360° ist mit einer solchen Brückenschaltung jedoch nur 25 dann möglich, wenn zwei miteinander verschaltete Wheatstone-Brücken gleichzeitig eingesetzt werden, die hinsichtlich der Richtungen der Magnetisierungen um 90° gegeneinander gedreht sind.

- [0009] Problematisch bei einem magnetoresistiven Schichtsystem mit zwei gegeneinander gedrehten Wheatstone'schen Brückenschaltungen ist, damit einen Sensor herzustellen, der lokal unterschiedliche und gleichzeitig definierte Richtungen der resultierenden Magnetisierung  $m_2$  insbesondere auf einem Chip aufweist. Dazu wurde bereits vorgeschlagen, die antiferromagnetische Teilschicht durch einen sogenannten "künstlichen" Antiferromagneten zu 30 ersetzen, der ein resultierendes magnetisches Moment besitzt. Auf diese Weise lässt sich die resultierende Magnetisierung  $m_2$  in der Referenzschicht nachträglich, d. h. auch nach der Deposition des Schichtsystems aus künstlichem Antiferromagneten und Referenzschicht, lokal mittels eines äußeren Magnetfeldes wieder verändern bzw. einstellen. Dabei muss man aber in Kauf nehmen, dass die Richtung der Magnetisierung  $m_2$  in der Referenzschicht zwangsläufig auch durch 35 externe Störfelder verändert werden kann. Ein derartiges GMR-Sensorelement wird von der Fa. Infineon AG, München, unter der Bezeichnung GMR-B6 angeboten.
- [0010] Daneben wurde in der Anmeldung DE 199 49 714.1 ein magnetisch sensitives Bauteil beschrieben, das nach diesem Prinzip arbeitet. Dort ist auch 40 die 360°-Winkelmessung mittels zweier Wheatstone-Brücken erläutert.

- [0011] Aufgabe der Erfindung war die Bereitstellung eines Verfahrens mit dem insbesondere auf einem Chip lokal unterschiedliche Richtungen einer resultierenden Magnetisierung in einer Schichtanordnung eingestellt bzw. diese Richtungen auch nach dem Abscheiden der Schichtanordnung wieder verändert werden können. Insbesondere war es Aufgabe, ein Verfahren bereitzustellen, mit dem nach dem Spin- 45 Valve-Prinzip arbeitende magnetoresistive Schichtsysteme herstellbar sind, die zur 360°-Winkelmessung und insbesondere in Kraftfahrzeugen in ABS-Radsensoren, Lenkwinkelsensoren oder als Potentiometerersatz einsetzbar sind, und die über einen möglichst weiten Temperaturbereich eine 50 Offset-freie Ausgangsspannung liefern.

## Vorteile der Erfindung

[0012] Das erfundungsgemäße Verfahren zur Einstellung, insbesondere zur lokalen Veränderung, einer resultierenden Magnetisierungsrichtung in einer Schichtanordnung hat gegenüber dem Stand der Technik den Vorteil, dass damit in besonders einfacher Weise ein magnetoresistives, nach dem Spin-Valve-Prinzip arbeitendes Schichtsystem herstellbar ist, bei dem innerhalb der Referenzschicht Bereiche mit jeweils unterschiedlicher, insbesondere paarweise senkrecht zueinander stehender resultierender Magnetisierungsrichtung vorliegen.

[0013] Besonders vorteilhaft ist dabei, dass damit ein auf dem GMR-Effekt basierendes Sensorelement herstellbar ist, bei dem auf einem Chip bzw. einem Substrat lokal unterschiedliche Richtungen der resultierenden Magnetisierung vorliegen, so dass diese Bereiche zu einer Wheatstone-Brücke verschaltet werden können, um darüber eine weitgehende Temperaturabhängigkeit des spezifischen elektrischen Widerstandes in der stromführenden Zwischenschicht zu erreichen.

[0014] Weiter ist vorteilhaft, dass auf dem Substrat nunmehr auch zwei Wheatstone'sche Brückenschaltungen gleichzeitig realisierbar sind, wobei die Richtungen der resultierenden Magnetisierung der einzelnen Bereiche in der ersten Wheatstone-Brücke gegenüber den resultierenden Richtungen der Magnetisierung in den einzelnen Bereichen der zweiten Wheatstone-Brücke gegeneinander um 90° verdreht sind. Auf diese Weise lässt sich neben einem temperaturunabhängigen Ausgangssignal des GMR-Sensorelementes auch eine Offset-freie Brückenausgangsspannung  $U_B$  erzielen. Zudem ist damit eine Winkelmessung über 360° möglich.

[0015] Ein weiterer Vorteil des erfundungsgemäßen Verfahrens liegt darin, dass auf den Einsatz eines "künstlichen" Antiferromagnet verzichtet werden kann, so dass externe Störfelder die Schichtanordnung nicht beeinträchtigen bzw. die lokal unterschiedlichen Richtungen der resultierenden Magnetisierung durch solche externen Störfelder unverändert bleiben.

[0016] Im Übrigen ist das erfundungsgemäße Verfahren leicht in die Massenfertigung von Sensorelementen und die dabei üblichen Prozesse integrierbar. Zudem hat man dabei die Möglichkeit, über die lokale Aufheizung auf dem Substrat in einfacher Weise die Form der Bereiche unterschiedlicher Magnetisierungsrichtung festzulegen, d. h. beispielsweise lokal mäanderförmige, kreisförmige oder rechteckförmige Bereiche zu erzeugen, die dann miteinander verschaltet werden.

[0017] Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung ergeben sich aus den in den Unteransprüchen genannten Maßnahmen.

[0018] So ist besonders vorteilhaft, wenn das insbesondere lokale Aufheizen der antiferromagnetischen Schicht über die Schwellentemperatur  $T_b$  durch Bestrahlen mit einem Laser erfolgt. Durch einen Laser kann besonders einfach, definiert und lokal begrenzt Wärme in die Schichtanordnung und insbesondere die aufzuheizende antiferromagnetische Schicht eingetragen werden. Als besonders vorteilhaft hinsichtlich eines lokal definierten Energieeintrages hat sich dabei weiter herausgestellt, wenn das Bestrahlen mit dem Laser in Form kurzzeitiger Pulse mit einer Pulsdauer von 10 ns bis 100  $\mu$ s erfolgt. Zudem ist vorteilhaft, wenn das Bestrahlen mit dem Laser durch Abscannen von zu bestrahlenden Streifen erfolgt, so dass auf dem Substrat in der der antiferromagnetischen Schicht benachbarten ferromagnetischen Schicht Streifen mit unterschiedlicher resultierender Magnetisierungsrichtung induziert werden.

Durch lokale bzw. punktuelle Laserpulse bzw. das Abscannen der antiferromagnetischen Schicht mit dem Laser sind insbesondere isolierte Flächen mit einer Größe von typischerweise 5  $\mu\text{m}^2$  bis 500  $\mu\text{m}^2$  oder Streifen einer typischen Breite von 5  $\mu\text{m}$  bis 100  $\mu\text{m}$  und einer Länge von 1 mm bis 120 mm, je nach Größe des eingesetzten Substrats bzw. Wafers, realisierbar.

[0019] Dadurch, dass nacheinander in verschiedenen, lokal begrenzten Bereichen oder Streifen der antiferromagnetischen Schicht eine Aufheizung über die Schwellentemperatur  $T_b$  vorgenommen wird, kann in den zugeordneten Bereichen der ferromagnetischen Schicht vorteilhaft durch ein bei dem Aufheizen angelegtes externes Magnetfeld eine Einstellung, insbesondere eine Veränderung, der dort lokal jeweils resultierenden Magnetisierungsrichtungen  $m_2$  vorgenommen werden. Bevorzugt werden die lokal unterschiedlichen Magnetisierungsrichtungen  $m_2$  dabei senkrecht zueinander ausgerichtet.

[0020] Als besonders einfach und vorteilhaft hat sich weiter herausgestellt, wenn das zur Veränderung bzw. Einstellung der lokalen Magnetisierungsrichtung beim Aufheizen eingesetzte externe Magnetfeld bereits beim Aufheizen der antiferromagnetischen Schicht über die Schwellentemperatur  $T_b$  und insbesondere während der gesamten Zeit, innerhalb derer sich jeweilige Bereich der antiferromagnetischen Schicht über dieser Schwellentemperatur befindet, aufrecht erhalten wird. Prinzipiell genügt es aber auch, wenn das externe Magnetfeld erst nach dem Aufheizen über die Schwellentemperatur angelegt und zumindest bis zum Abkühlen unter die Schwellentemperatur aufrecht erhalten wird. In jedem Fall wird damit erreicht, dass die resultierende Magnetisierungsrichtung der ferromagnetischen Schicht in dem aufgeheizten Bereich der antiferromagnetischen Schicht benachbarten Bereich nach dem Abkühlen zumindest näherungsweise zu der während der Zeit des Aufheizens über die Schwellentemperatur angelegten Richtung des externen Magnetfeldes parallel ausgerichtet ist.

[0021] Somit bewirkt der aufgeheizte Bereich der antiferromagnetischen Schicht auch nach dem Abkühlen unter die Schwellentemperatur  $T_b$  wieder eine Stabilisierung des diesem Bereich benachbarten Bereiches der ferromagnetischen Schicht hinsichtlich der dortigen Richtung der resultierenden Magnetisierung  $m_2$ . Insgesamt wird so durch das lokale Erwärmen eine lokale Stabilisierungsrichtung der resultierenden Magnetisierung in der ferromagnetischen Schicht definiert.

[0022] Hinsichtlich der Materialien für die ferromagnetische Schicht und die antiferromagnetische Schicht kann vorteilhaft auf übliche Materialien zurückgegriffen werden. So eignet sich als ferromagnetische Schicht besonders eine weichmagnetische Schicht, beispielsweise eine Nickel-Schicht, eine Eisen-Schicht, eine Kobalt-Schicht oder eine Schicht mit einer Legierung von zwei oder drei der genannten Elementen. Als antiferromagnetische Schicht eignet sich beispielsweise eine Nickeloxid-Schicht oder eine Iridium-Mangan-Schicht.

## Zeichnungen

[0023] Die Erfindung wird anhand der Zeichnungen und in der nachfolgenden Beschreibung näher erläutert. Es zeigt Fig. 1 eine Prinzipskizze eines magnetoresistiven Schichtsystems nach dem Spin-Valve-Prinzip, Fig. 2a einen Schnitt durch Fig. 1 unterhalb der Schwellentemperatur, Fig. 2b einen Schnitt durch Fig. 1 nach dem Aufheizen über die Schwellentemperatur und dem Abkühlen bei einem angelegten externen Magnetfeld  $H$ , und Fig. 2c das magnetoresistive Schichtsystem gemäß Fig. 1 bzw. Fig. 2b auf einem

Substrat. Die Fig. 3 zeigt das lokale Einstellen der Magnetisierungsrichtung  $m_2$  in Form von Streifen, während Fig. 4 eine Verschaltung lokaler Bereiche mit unterschiedlichen Magnetisierungsrichtungen zu zwei Wheatstone'schen Brückenschaltungen erläutert.

#### Ausführungsbeispiel

[0024] Die Erfindung geht von einem in Fig. 1 dargestellten magnetoresistiven Schichtsystem nach dem Spin-Valve-Prinzip aus, das einen GMR-Effekt aufweist. Dabei ist vorgesehen, dass auf einer Referenzschicht 2, die zumindest lokal eine resultierende Magnetisierung  $m_2$  mit vorgegebener, fester bzw. "gepinnter" Magnetisierungsrichtung aufweist, eine elektrisch leitende, bei Betrieb stromführende Zwischenschicht 3, und auf dieser eine Detektionsschicht 1 angeordnet ist. Die Detektionsschicht 1 ist beispielsweise eine weichmagnetische Schicht, deren Magnetisierung  $m_1$  sich stets zumindest näherungsweise parallel zu einem extern angelegten Magnetfeld ausrichtet. Da bei einem solchen externen Magnetfeld die Richtung der Magnetisierung  $m_2$ , wie bereits erläutert, zumindest weitgehend unbeeinflusst bleibt, ergibt sich ein winkelabhängiger elektrischer Widerstand der Zwischenschicht (GMR-Effekt).

[0025] Im Einzelnen zeigt Fig. 2c, dass auf einem Substrat 10 aus beispielsweise thermisch oxidiertem Silizium zunächst beispielsweise in Sputtertechnik eine optionale Bufferschicht 11 aufgebracht worden ist, die aus Tantal besteht und einige Nanometer dick ist. Auf dieser Bufferschicht 11 wurde dann die Detektionsschicht 1 abgeschieden, die beispielsweise aus einer einige Nanometer dicken Nickel-Eisen-Schicht oder einer Kobalt-Schicht besteht. Bevorzugt ist die ferromagnetische Detektionsschicht eine weichmagnetische, ferroelektrische Schicht. Auf der Detektionsschicht 1 wurde dann in bekannter Weise die Zwischenschicht 3 in Form einer einige Nanometer dicken Schicht, beispielsweise aus Kupfer, abgeschieden.

[0026] Schließlich wurde dann auf der Zwischenschicht 3 zunächst eine ferromagnetische Schicht 2a aus einem bevorzugt relativ weichmagnetischen Material wie beispielsweise einer Nickel-Eisen-Legierung oder aus Kobalt mit einer Dicke von einigen Nanometern abgeschieden, bevor auf dieser eine antiferromagnetische Schicht 2b abgeschieden wurde, die beispielsweise aus einer einige Nanometer dicken Nickeloxid-Schicht oder einer Iridium-Mangan-Schicht besteht.

[0027] Die ferromagnetische Schicht 2a und die benachbarte antiferromagnetische Schicht 2b bilden dabei die Referenzschicht 2 gemäß Fig. 1. An dieser Stelle sei zudem betont, dass die Schichtabfolge gemäß Fig. 2c auch umgekehrt sein kann, d. h. die Referenzschicht 2 wird auf der Bufferschicht 11 abgeschieden, darauf die Zwischenschicht 3 und darauf dann die Detektionsschicht 1.

[0028] In Fig. 2c ist weiter vorgesehen, dass zumindest beim Erzeugen der Referenzschicht 2 aus den beiden Teilschichten 2a, 2b durch Anlegen eines äußeren Magnetfeldes bei der Abscheidung bzw. Deposition zunächst eine homogene Ausrichtung des resultierenden magnetischen Moments bzw. der Magnetisierung  $m_2$  in der ferromagnetischen Schicht 2a eingestellt wird. Insbesondere begünstigt dieses Anlegen der externen Magnetfeldes während der Abscheidung bzw. Deposition eine unidirektionale Anisotropie in der Referenzschicht 2, die auch als "Pinning"-Richtung bezeichnet wird.

[0029] Zur lokalen Einstellung bzw. Veränderung der "Pinning"-Richtung in der Referenzschicht 2 bzw. insbesondere der ferromagnetischen Schicht 2a, d. h. konkret der Richtung der dort lokal resultierenden Magnetisierung  $m_2$ ,

ist nun weiter vorgesehen, dass zumindest die antiferromagnetische Schicht 2b, bevorzugt jedoch die antiferromagnetische Schicht 2b und die ferromagnetische Schicht 2a, durch lokale Bestrahlung mit Hilfe eines Lasers über eine Schwellentemperatur  $T_b$  aufgeheizt wird. Diese Schwellentemperatur wird auch als "blocking temperature" der antiferromagnetischen Schicht 2b bezeichnet.

[0030] Das Aufheizen beruht dabei auf der Erkenntnis, dass dann, wenn man eine antiferromagnetische Schicht über diese Schwellentemperatur  $T_b$  aufheizt, der sogenannte "Exchange-Bias-Effekt" verschwindet, d. h. die antiferromagnetische Schicht 2b induziert oberhalb dieser Schwellentemperatur  $T_b$  nicht mehr eine bevorzugte Richtung der Magnetisierung  $m_2$  in der benachbarten ferromagnetischen Schicht 2a. Insofern geht auch die Stabilisierung der Richtung der Magnetisierung  $m_2$ , die durch die antiferromagnetische Schicht 2b hervorgerufen wurde, oberhalb dieser Schwellentemperatur  $T_b$  verloren.

[0031] Im Einzelnen ist gemäß Fig. 2a vorgesehen, dass in Draufsicht auf die antiferromagnetische Schicht 2b lokal begrenzte Bereiche der antiferromagnetischen Schicht 2b, beispielsweise isolierte Flächen mit einer Größe von  $5 \mu\text{m}^2$  bis  $500 \mu\text{m}^2$ , oder alternativ auch Streifen mit einer Breite von  $5 \mu\text{m}$  bis  $100 \mu\text{m}$  und einer Länge von  $1 \text{ mm}$  bis  $120 \text{ mm}$ , nacheinander mit einem Laser aufgeheizt werden. Der Laser bietet dabei die Möglichkeit, sehr präzise selbst  $\mu\text{m}^2$ -große Flächen definiert aufzuheizen. Prinzipiell kommen jedoch auch andere Aufheizverfahren in Frage, mit denen eine derartige lokale bzw. streifenförmige Aufheizung der antiferromagnetischen Schicht 2b möglich ist. Die Schwellentemperatur  $T_b$  hängt im Übrigen vom Material der antiferromagnetischen Schicht 2b ab. Sie beträgt im Fall der vorstehend genannten Materialien ca.  $200^\circ\text{C}$ .

[0032] Die Fig. 2a zeigt zunächst den Zustand unterhalb der Schwellentemperatur  $T_b$ , bei der die antiferromagnetische Schicht 2b in der ferromagnetischen Schicht 2a, die dieser benachbart ist, über den "Exchange-Bias-Effekt" eine unidirektionale Anisotropie der Magnetisierung  $m_2$  induziert. In Fig. 2b ist dann dargestellt, wie durch die erläuterte Bestrahlung mit einem Laser zunächst die antiferromagnetische Schicht 2b über die Schwellentemperatur  $T_b$  aufgeheizt wurde, wobei gleichzeitig zumindest nach dem Überschreiten der Schwellentemperatur  $T_b$  und während dem nachfolgenden Abkühlen ein externes Magnetfeld  $H$  der eingezeichneten Richtung angelegt worden ist. Wenn nun bei angelegtem externen Magnetfeld  $H$  durch Ausschalten der Laser-Bestrahlung die antiferromagnetische Schicht 2b wieder unter die Schwellentemperatur  $T_b$  abkühlt, setzt der durch das Aufheizen über die Schwellentemperatur  $T_b$  ausgeschaltete "Exchange-Bias-Effekt" wieder ein, d. h. die antiferromagnetische Schicht 2b "pins" oder fixiert nun wieder über die Grenzschicht zwischen der antiferromagnetischen Schicht 2b und der ferromagnetischen Schicht 2a in der Schicht 2a eine resultierende Magnetisierung  $m_2$  mit der in Fig. 2b eingezeichneten Richtung entsprechend der Richtung des temporär angelegten externen Magnetfeldes  $H$ .

[0033] Insgesamt wird durch das erläuterte Verfahren erreicht, dass in dem Bereich der ferromagnetischen Schicht 2a, der dem aufgeheizten Bereich der antiferromagnetischen Schicht 2b benachbart ist, die Richtung der Magnetisierung  $m_2$  entsprechend der Richtung des beim Aufheizen über die Schwellentemperatur angelegten externen Magnetfeldes  $H$  ausgerichtet ist. Diese Ausrichtung tritt dabei aber nur in den Bereichen auf, die aufgeheizten Bereichen benachbart sind. Andere Bereiche sind von der Änderung der Magnetisierungsrichtung nicht beeinflusst.

[0034] Zusammenfassend wurde gemäß Fig. 2b erreicht, dass die resultierende Magnetisierung  $m_2$  in der ferromagne-

tischen Schicht 2a oberhalb der Schwellentemperatur  $T_b$  der Richtung des externen Magnetfeldes H gefolgt ist, und dass sich während der Abkühlung unter die Schwellentemperatur  $T_b$  mit der antiferromagnetischen Schicht 2b über den wieder einsetzenden "Exchange-Bias-Effekt" koppelt, so dass die Richtung der Magnetisierung  $m_2$  unterhalb der Schwellentemperatur  $T_b$  von der antiferromagnetischen Schicht 2b wieder induziert bzw. stabilisiert wird.

[0035] Da das erläuterte Aufheizen mit einem Laser ein lokaler Effekt ist, hat man nun in einfacher Weise die Möglichkeit, auf der Oberfläche des Substrates 10 lokal und definiert in der ferromagnetischen Schicht 2a Bereiche mit unterschiedlicher Richtung der resultierenden Magnetisierung  $m_2$  zu erzeugen. Dies wird mit Hilfe der Fig. 3 erläutert, die eine Draufsicht auf die ferromagnetische Schicht 2a gemäß Fig. 2c zeigt. Die die ferromagnetische Schicht 2a abdeckende antiferromagnetische Schicht 2b wurde in Fig. 3 nicht dargestellt.

[0036] Im Einzelnen zeigt Fig. 3 einen ersten Streifen 5, einen zweiten Streifen 6, einen dritten Streifen 8 und einen vierten Streifen 9, die jeweils in den eingezeichneten rechteckigen Bereichen eine unterschiedliche Richtung der Magnetisierung  $m_2$  aufweisen. Insbesondere sind die den aufgeheizten Bereichen der antiferromagnetischen Schicht 2b benachbarten rechteckigen Bereiche der ferromagnetischen Schicht 2a in Form isolierter Flächen mit einer Größe von 5  $\mu\text{m}^2$  bis 500  $\mu\text{m}^2$  ausgebildet. Insbesondere ist in Fig. 3 vorgesehen, dass die einzelnen Bereiche bzw. Streifen 5, 6, 8, 9 mit unterschiedlicher Richtung der Magnetisierung  $m_2$  einen minimalen Abstand von 20  $\mu\text{m}$  bis 100  $\mu\text{m}$  voneinander aufweisen.

[0037] Um die eingezeichneten Richtungen der Magnetisierung  $m_2$  in den Streifen einzelnen 5, 6, 8, 9 zu erreichen, wurden diese jeweils nacheinander durch Laserbestrahlung über die Schwellentemperatur  $T_b$  aufgeheizt, wobei, wie erläutert, ein jeweils ein zu den eingezeichneten Richtungen der Magnetisierung  $m_2$  in den einzelnen Streifen 5, 6, 8, 9 paralleles externes Magnetfeld H angelegt worden ist. Dies wird in Fig. 3 exemplarisch am Beispiel des zweiten Streifens 6 erläutert. Für die anderen Streifen 5, 8, 9 wurde das externe Magnetfeld H jeweils um 90° gedreht.

[0038] Zur Erzeugung der rechteckigen oder alternativ auch mäandrischförmigen Bereiche mit lokal unterschiedlicher Magnetisierungsrichtung gemäß Fig. 3 durch Aufheizen entsprechender zugeordneter Bereiche der antiferromagnetischen Schicht 2b mit einem Laser wird bevorzugt eine entsprechende Maske eingesetzt. Es kann jedoch auch ohne Maske gearbeitet werden, indem lokal begrenzte Flächen beispielsweise mit einem feinen, kreisförmigen Laserpuls mit einer Pulsdauer von 10 ns bis 100  $\mu\text{s}$  aufgeheizt werden. [0039] Im Übrigen sei betont, dass das Aufheizen an einem Wafer-Nutzen oder alternativ auch ein bereits fertig prozessierten Sensorelementen mit oder ohne auf der Referenzschicht 2 aufgebrachten zusätzlichen Passivierungsschicht erfolgen kann. Insbesondere kann die Laserbehandlung und damit die lokale Veränderung der resultierenden Magnetisierungsrichtung gemäß Fig. 3 auch in einem abschließenden Backend-Test durchgeführt werden.

[0040] Die sich an Fig. 3 anschließenden Verfahrensschritte wie beispielsweise eine Strukturierung der erzeugten Referenzschicht 2, das Aufbringen von Leitungsschichten zur elektrischen Verschaltung der einzelnen erzeugten Bereiche sowie von geeigneten Isolationsschichten bzw. Schutzschichten entsprechen dem Stand der Technik.

[0041] Die Fig. 4 erläutert die Verschaltung zweier auf dem Substrat 10 in der ferromagnetischen Schicht 2a gemäß Fig. 2c bzw. Fig. 1 erzeugter Wheatstone'scher Brückenschaltungen. Dazu wurden die Bereiche mit unterschiedli-

cher Richtung der resultierenden Magnetisierung  $m_2$  gemäß Fig. 3 über übliche Leitungsschichten bzw. Leiterbahnen zu einer ersten Wheatstone-Brücke 40 und einer zweiten Wheatstone-Brücke 41 miteinander verschaltet. Dabei wird die erste Wheatstone-Brücke 40 im erläuterten Beispiel von den Bereichen innerhalb des ersten Streifens 5 und des zweiten Streifens 6 gebildet. Zur Ausbildung der zweiten Wheatstone-Brücke 41 wurden innerhalb des dritten Streifens 8 liegenden Bereiche mit innerhalb des vierten Streifens 9 liegenden Bereichen wie dargestellt verschaltet. Auf diese Weise ist die erste Wheatstone-Brücke 40 gegenüber der zweiten Wheatstone-Brücke 41 um 90° gedreht.

[0042] Innerhalb der einzelnen Wheatstone-Brücken 40, 41 sind weiter jeweils zwei Bereiche mit paralleler Magnetisierungsrichtung und zwei Bereiche mit antiparalleler Magnetisierungsrichtung in an sich bekannter Weise miteinander verschaltet. Jede der beiden Wheatstone-Brücken 40, 41 liefert somit eine Brückenausgangsspannung  $U_B$  als Funktion einer Eingangsspannung  $U_0$  gemäß:

$$U_B = 2U_0 C \cos \theta$$

[0043] Durch die Verdrehung um 90° der Wheatstone-Brücke 40 gegenüber der zweiten Wheatstone-Brücke 41 liefert die erste Wheatstone-Brücke 40 ein cos-Signal während die zweite ein sin-Signal liefert. Mit Hilfe des bekannten Arctan-Auswerteverfahrens lässt sich dann aus beiden Signalen der Absolutwinkel der Richtung eines externen Magnetfeldes über den gesamten Winkelbereich von 360° ermitteln.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zur Einstellung, insbesondere lokalen Veränderung einer resultierenden Magnetisierungsrichtung in einer Schichtanordnung (2) mit einer ferromagnetischen Schicht (2a) und einer benachbarten antiferromagnetischen Schicht (2b), wobei die ferromagnetische Schicht (2a) eine resultierende Magnetisierung mit einer zugeordneten, durch die antiferromagnetische Schicht induzierten oder beeinflussbaren, insbesondere stabilisierbaren, resultierenden Magnetisierungsrichtung ( $m_2$ ) aufweist, dadurch gekennzeichnet, dass zumindest die antiferromagnetische Schicht (2b) zumindest bereichsweise über eine Schwellentemperatur ( $T_b$ ) aufgeheizt wird, oberhalb derer der Einfluss dieses Bereiches der antiferromagnetischen Schicht (2b) auf die resultierende Magnetisierungsrichtung ( $m_2$ ) des benachbarten Bereiches (5, 6, 8, 9) der ferromagnetischen Schicht (2a) zumindest weitgehend verschwindet, dass weiter zumindest der dem aufgeheizten Bereich der antiferromagnetischen Schicht (2b) benachbarte Bereich (5, 6, 8, 9) der ferromagnetischen Schicht (2a) einem externen Magnetfeld (H) vorgegebener Richtung ausgesetzt wird, und dass danach die antiferromagnetische Schicht (2b) wieder unter die Schwellentemperatur ( $T_b$ ) abgekühlt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das externe Magnetfeld (H) bereits beim Aufheizen und/oder nach dem Erreichen der Schwellentemperatur ( $T_b$ ) angelegt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass das externe Magnetfeld (H) nach dem Anlegen bis zu dem Abkühlen unter die Schwellentemperatur ( $T_b$ ) aufrechterhalten wird.
4. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die resultierende Magnetisierungsrichtung ( $m_2$ ) der ferromagnetischen

Schicht (2a) in dem dem aufgeheizten Bereich benachbarten Bereich (5, 6, 8, 9) nach dem Abkühlen zumindest näherungsweise parallel zu der Richtung des externen Magnetfeldes (H) ausgerichtet ist.

5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass durch die nach dem Abkühlen resultierende Magnetisierungsrichtung ( $m_2$ ) der ferromagnetischen Schicht (2a) in dem dem aufgeheizten Bereich benachbarten Bereich (5, 6, 8, 9) durch die benachbarte antiferromagnetische Schicht (2b) in diesem Bereich (5, 6, 10  
8, 9) stabilisiert wird.

6. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass als ferromagnetische Schicht (2a) eine weichmagnetische Schicht, insbesondere eine NiFe-Schicht, eingesetzt wird. 15

7. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass als antiferromagnetische Schicht (2b) eine NiO-Schicht oder eine IrMn-Schicht eingesetzt wird.

8. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die vor dem Aufheizen vorliegende resultierende Magnetisierungsrichtung ( $m_2$ ) in der ferromagnetischen Schicht (2a) der Schichtanordnung (2) durch ein bei einem Abscheiden der antiferromagnetischen Schicht (2b) oder bei einem 25 Abscheiden der antiferromagnetischen Schicht (2b) und der ferromagnetischen Schicht (2b) angelegtes externes Magnetfeld eingestellt wird.

9. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Aufheizen 30 durch Bestrahlen mit einem Laser erfolgt.

10. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass das Bestrahlen mit dem Laser in Form kurzzeitiger Pulse mit einer Pulsdauer von 10 ns bis 100  $\mu$ s erfolgt. 35

11. Verfahren nach Anspruch 9 oder 10, dadurch gekennzeichnet, dass das Bestrahlen mit dem Laser durch Abscannen von zu bestrahlenden Streifen (5, 6, 8, 9) erfolgt.

12. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass lokal begrenzte Bereiche der antiferromagnetischen Schicht (2b), insbesondere isolierte Flächen einer Größe von 5  $\mu\text{m}^2$  bis 45 500  $\mu\text{m}^2$  oder Streifen (5, 6, 8, 9) einer Breite 5  $\mu\text{m}$  bis 100  $\mu\text{m}$  und einer Länge von 1 mm bis 120 mm, aufgeheizt werden.

13. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass nacheinander in verschiedenen, lokal begrenzten Bereichen (5, 6, 8, 9) der ferromagnetischen Schicht (2a) eine Einstellung, 50 insbesondere Veränderung, der lokal dort jeweils resultierenden Magnetisierungsrichtungen ( $m_2$ ) vorgenommen wird.

14. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass in der ferromagnetischen Schicht (2a) mehrere Bereiche (5, 6, 8, 9) mit lokal unterschiedlicher resultierender Magnetisierungsrichtung ( $m_2$ ) insbesondere mit zueinander senkrechter resultierender Magnetisierungsrichtung ( $m_2$ ), erzeugt werden. 55

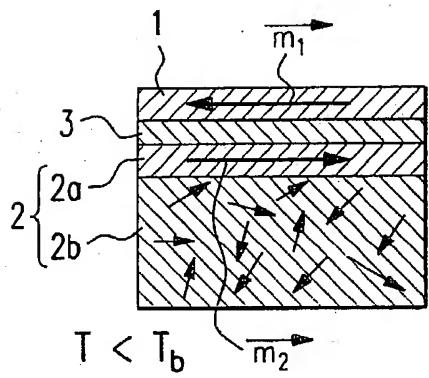
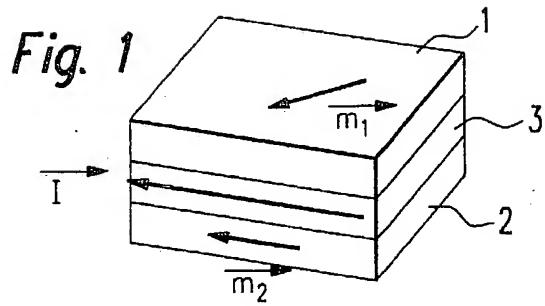
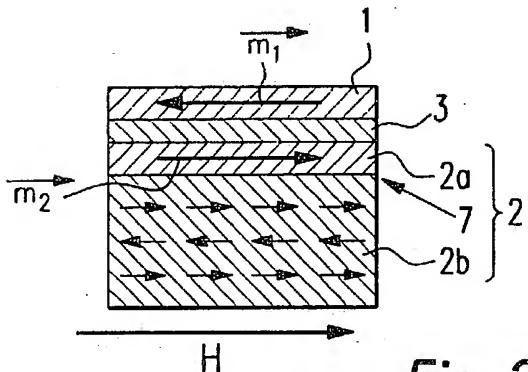
15. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Schichtanordnung (2) mit der ferromagnetischen Schicht (2a) und der darüber oder darunter befindlichen antiferromagnetischen Schicht (2b) Bereichsweise über die Schwellentemperatur ( $T_b$ ) aufgeheizt wird. 65

16. Verwendung des Verfahrens nach einem der vorangehenden Ansprüche zur Herstellung eines magnetore-

sistiven, nach dem Spin-Valve-Prinzip arbeitenden Schichtsystems, insbesondere eines magnetoresistiven, nach dem Spin-Valve-Prinzip arbeitenden Schichtsystems, bei dem innerhalb der Referenzschicht (2) Bereiche mit einer unterschiedlichen, insbesondere paarweise senkrecht zueinander stehenden resultierenden Magnetisierungsrichtung ( $m_2$ ) vorliegen, die in Form einer Wheatstone-Brücke (40, 41) miteinander verschaltet sind.

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

**- Leerseite -**

*Fig. 2a**Fig. 2b*

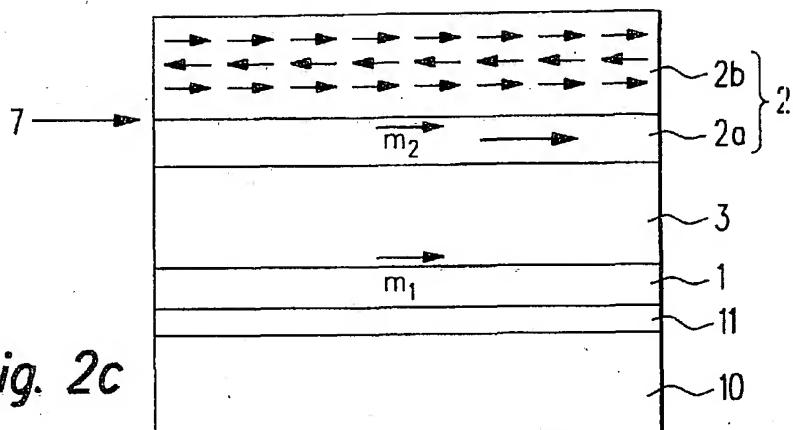


Fig. 2c

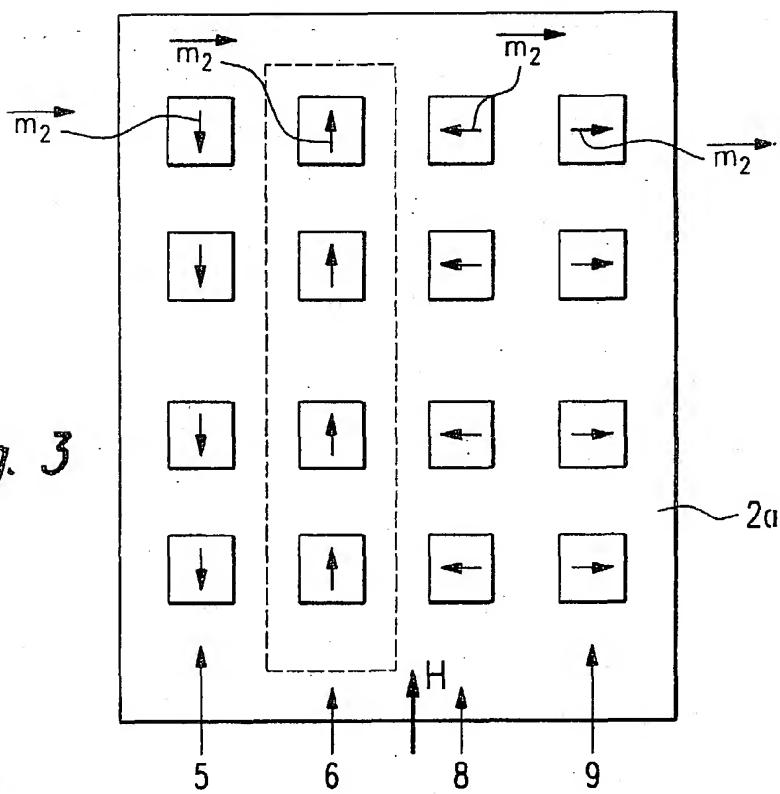


Fig. 3

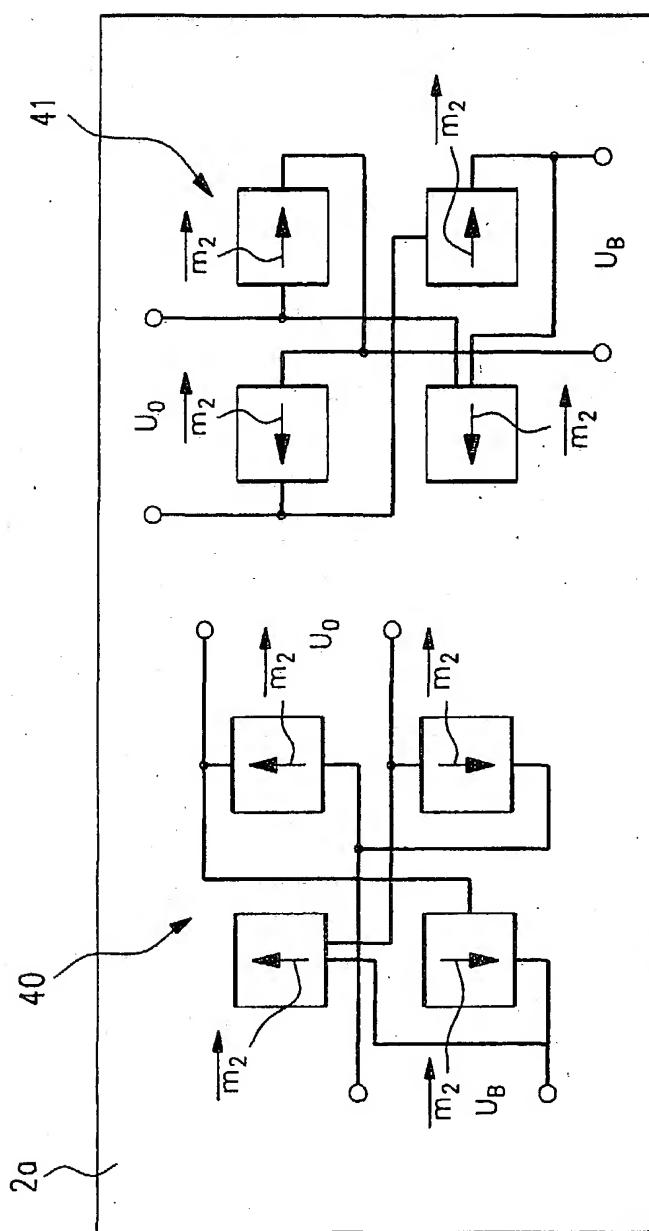


Fig. 4